

カージオイド複反射鏡アンテナに関する研究

著者	氏家 宏
号	252
発行年	1975
URL	http://hdl.handle.net/10097/11201

氏 名	上 氏 家 宏
授 与 学 位	工 学 博 士
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 5 0 年 7 月 2 日
学 位 授 与 の 根 拠 法 規	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 3 9 年 3 月 東北大学工学部電気工学科卒業
学 位 論 文 題 目	カージオイド複反射鏡アンテナに関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 西田 茂穂 東北大学教授 虫明 康人 東北大学教授 安達 三郎 東北大学助教授 米山 務

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 要 旨

カージオイド筒と円筒との組合わせによってできる複反射鏡はAbbeの正弦条件を満足し、光軸と平行に入射した光線に対して球面収差の存在しないことが知られている。したがって、カージオイド筒反射鏡（以後カージオイド鏡とよぶことにする）の曲率の変化が小さい部分を用いると、斜入射平行光線に対してコマ収差係数のきわめて小さいことが予想される。

鏡面アンテナにおいて、給電点を変位させることによって放射ビームを振るには、コマ収差の小さいことが不可欠の条件であるので、上述の複反射鏡（以後カージオイド鏡面系とよぶことにする）は、変位給電法による走査アンテナへ応用した場合に、きわめて優れた収差特性を有しているものと思われる。

本研究は、この点に着目し、カージオイド鏡面系の変位給電に対する幾何光学的性質および波動光学的性質を調べ、これらを基にして変位給電放射特性を明らかにし、この鏡面系を走査アン

テナへ応用する場合に必要な基礎的な設計資料を提供することを、その主な目的としている。

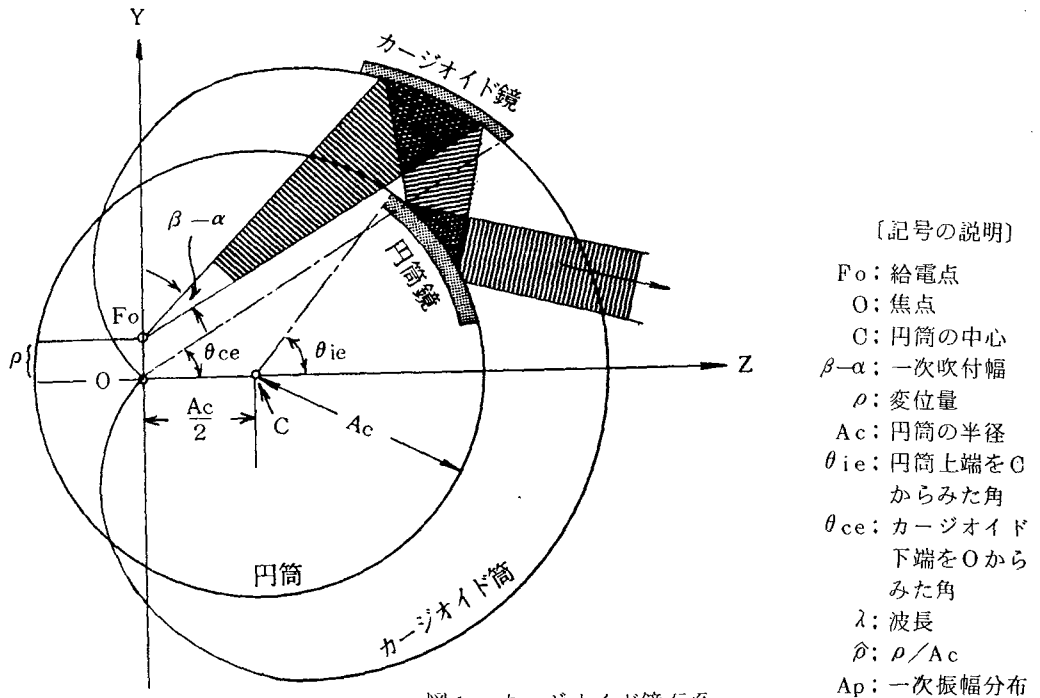


図1 カージオイド鏡面系

第2章 カージオイド鏡面系の幾何光学的諸性質

本章においては、アンテナへ応用する場合に知る必要のあるカージオイド鏡面系の幾何光学的性質を調べている。

まず、斜入射平行光線がガウス像面の近傍により収束性を示すこと、および給電点をガウス像面上で変位させると出射光線がほとんど平行度を失わずにその傾き角を変位量にほぼ比例して変えていくことを明らかにしている。

つぎに、給電点の変位にともなう開口面振幅分布の変化も小さいことおよびブロッキングとスピルオーバー量の大きいことを具体的に示し、この鏡面系の有効開口幅が円筒鏡の半径(A_c)の20%前後であることを明らかにしている。

最後に、カージオイド鏡面系の最大の特長である良好な変位給電位相特性を詳細に論ずるために、収差係数を算出している。そして、収差特性がパラボラアンテナ、カセグレンアンテナおよびシュバルツシルドアンテナ等比べてかなり優れていることを明らかにしている。例えば、ビームを5度傾けたときのコマ収差係数は、 F/D 比5の長焦点パラボラが 10^{-2} の位、シュバルツシルドが 10^{-3} の位であるのに対して、カージオイド鏡面系は 10^{-4} の位である。

これらのことから、線波源をガウス像面上において変位させることによって、放射ビームを広範囲に走査できることが予測される。

第3章 カージオイド鏡面系の波動光学的諸性質

前章の結果から、カージオイド鏡面系の収差特性がきわめて良好であるという性質をアンテナの変位給電特性へ生かすことができれば、広角走査アンテナとして、この鏡面系を利用できることが予想される。

しかしながら、マイクロ波あるいはミリ波帯においては、鏡面の大きさ、鏡面間の距離等が波長に比べて大であるが、幾何光学的近似が十分成立する大きさよりは小さい状態でアンテナに応用される場合が多い。

このような場合は、鏡面系の波動的なふるまいが問題となり、場合によっては幾何光学上の動作原理からかなり隔たったところで動作し、上述の収差特性が良好であるという幾何光学上の特長をアンテナの変位給電特性として十分生かし得ないこともありうる。

そこで、本章においては、ガウス像面上において線電流源および線磁流源によって給電を行った場合のカージオイド鏡面系の波動光学的動作に関する議論を行っている。すなわち、この鏡面系からの散乱界、鏡面端部散乱の影響、両鏡面間の多重反射の影響等を明らかにし、幾何光学的近似が成立するための鏡面系の大きさについても言及している。主要結果は次のように要約される。

$Ac=20\lambda$ の鏡面系については、(イ)主散乱遠方界は、幾何光学的に開口面分布を与えて計算した遠方放射界との間に差異を持ち、さらに、線磁流給電の場合と線電流給電の場合との間においても比較的大きな差異を持つこと。(ロ)鏡面端部散乱および多重反射が遠方界へ与える影響は、実用上も無視できるとは限らないこと。

$Ac=100\lambda$ の鏡面系については、(イ)主散乱遠方界は、幾何光学的に開口面分布を与えて計算した遠方放射界にはほぼ一致し、さらに、線磁流給電の場合と線電流給電の場合との間にはほとんど差異を持たないこと。(ロ)鏡面端部散乱および多重反射が遠方界へ与える影響も実用上無視できること。これらの結果から $Ac\approx 20\lambda$ 程度の小形鏡面系は幾何光学的原理からある程度隔たったところで動作するが、 $Ac\approx 100\lambda$ 程度の鏡面系は幾何光学的原理に基づいて動作するものとみなしても実用上は問題がないことを結論している。

すなわち、 $Ac\approx 100\lambda$ あるいはそれ以上の鏡面系においては、第2章で述べた収差特性が良好であるという幾何光学的特長を、アンテナの変位給電特性に十分生かすことができることが示されている。

第4章 変位給電アンテナ

本章においては、アンテナ工学の立場から、ビームの主方向、ピーク値の変化、利得係数、ビーム幅およびサイドロープレベル等について、それらの算定を行い、第2章で示した鏡面の幾何光学的性質を基にして、これらの算定結果を議論している。さらに、実験的検討と走査範囲に関する考察を加えている。

そして、次に列挙するような変位給電放射特性と走査アンテナとしての特色等を明らかにしている。

(I) 走査を行うに際して、放射ビームの形状がほとんど変化しない。

(II) 給電点変位量に対する。ビーム傾き角の直線性が良好である。

(III) 走査範囲がかなり広い。

($A_c = 1000\lambda$, 許容範囲 $\pm 1\text{ dB}$ でビーム幅の50倍以上)

(IV) 走査範囲が主として幾何光学的有効開口幅の変化によって定まり、収差量によってはあまり影響されない。

(V) コマ収差の影響は、 $A_c = 1000\lambda$ の場合に $\rho > 0.2$ の範囲で若干の放射パターンの乱れに寄与するだけであり、 $A_c \leq 1000\lambda$ の鏡面系では、実用上コマ収差を無視して諸特性を論じてもほとんど問題はない。

(VI) 非点収差の影響は、コマ収差よりも大きく、 $A_c = 1000\lambda$ の場合は $\rho \geq 0.15$ の範囲で各アンテナ定数を大きく変化させるが、 $\rho < 0.1$ の範囲においては、その影響はコマ収差同様きわめて小さい。

(VII) 開口面振幅分布の非対称性が放射特性に与える影響も非常に小さい。

走 査 範 囲 ($A_p = 1$, $\beta - \alpha = 18^\circ$)

鏡 面 の 配 置 (θ_{ie}, θ_{ce} , 度)	ピーク値変化 の許容量 (dB)	鏡面系の大き さ (A_c/λ)	走 査 範 囲 (ビーム幅の倍数)	走 査 範 囲 (度)
$\theta_{ie} = 40$ $\theta_{ce} = 26$	± 0.5	100	6.7	18.0
		1000	47.4	12.8
	± 1.0	100	8.7	23.6
		1000	59.3	16.0
	± 1.5	100	10.2	27.5
		1000	65.9	17.8
$\theta_{ie} = 50$ $\theta_{ce} = 30$	± 0.5	100	5.0	13.0
		1000	38.8	10.1
	± 1.0	100	6.6	17.2
		1000	53.0	13.8
	± 1.5	100	8.5	22.2
		1000	68.1	17.7

第5章 実用上の諸問題

カージオイド鏡面系の有する良好な幾何光学的位相特性をアンテナの変位給電特性へ応用するに際して、実用上問題となるものと考えられる諸項について検討を行っている。

まず、鏡面の配置誤差および給電点の位置誤差が収差特性や放射特性へ及ぼす効果については、次のことを明らかにしている。

- (Ⅰ) 誤差量が5波長を越えるようになると、ビームの方向が大きく変化だけでなく、ビームの形状も乱れてくるので、前章で述べた良好な変位給電特性は期待できなくなる。
- (Ⅱ) 誤差量が2～3波長以下の場合は、非点収差およびコマ収差ともに実用上無視することができるが、直線位相分布の変化量が若干存在するので、ビームの方向変化に留意する必要がある。とくに、円筒鏡が光軸と平行な方向に配置誤差を有する場合は、ビームの方向変化が顕著に現れる。
- (Ⅲ) 誤差量が0.3波長以下になると、誤差の種類によらず、ビームの方向変化量はビーム幅の $\frac{1}{10}$ 以下となる。
- (Ⅳ) 各誤差が同時に存在する場合のクロスタームの影響は、誤差量数波程度までは、給電点変位量の小さい場合に限って、これを実用上無視できる。

つぎに、光軸上に中心を有し、焦点を通る円周において、給電点を変位させた場合の収差特性を調べている。そして、この円の半径を1.6λ程度にすると、ガウス像面上における変位の場合に比べて、非点収差を減少させられることを明らかにしている。

最後に、給電アンテナの位相中心について検討を加えている。そして、給電アンテナの放射界の等位相面の中心軸上における曲率中心を位相中心と定めることにすると、給電波を、近軸領域において、この位相中心から出た円筒波とみなすことが実用上十分な近似で可能であることを示している。

すなわち、幾何光学的に定めた給電点の位置に、上述の位相中心がくるように給電アンテナを配置すれば、前章に述べた良好な変位給電特性は、実用上も生かされることが示されている。

審 査 結 果 の 要 旨

反射鏡アンテナは、マイクロ波領域における高利得アンテナとして極めて実用性が高く、従来、主としてパラボラ・アンテナが広く実用されてきた。しかしこのアンテナでは、反射鏡を固定して放射ビームを広い角度にわたって走査することが本質的に困難である。これは反射鏡の収差特性に起因する。著者は、カージオイド筒と円筒を組合せた複反射鏡系が光学的収差特性の点で極めて優れていることに着目し、マイクロ波領域における実用的なアンテナとして、新しいカージオイド複反射鏡アンテナを提案した。さらに著者は、このアンテナについて詳しい検討を行い、広角走査アンテナとして優れた特性を有することを確認し、実用アンテナとしての基礎的な設計資料を得た。本論文はこれらをまとめたもので6章よりなっている。

第1章は緒論である。

第2章では、著者が提案するカージオイド複反射鏡アンテナの構造とその原理およびアンテナとしての諸特性について、幾何光学的観点から論じている。特に、このアンテナの収差特性が従来のアンテナに比べて非常に優れていることを示し、波源をガウス像面上で変位させることにより、放射ビームを広い範囲にわたって走査できることを示している。これは有用な知見である。

第3章は、アンテナ特性の波動光学的解析を述べたもので、鏡面系の散乱界、鏡面端部散乱の影響および両鏡面間の多重反射の影響などを明らかにし、その結果を第2章で得られた幾何光学近似の結果と対比して、幾何光学的手法による設計理論の限界を示している。マイクロ波領域では幾何光学近似の成り立たない場合もあり、ここに示された結論は実用上有用である。

第4章は、アンテナの変位給電特性を論じたもので、提案されたアンテナの最も大きな特徴である放射ビームの走査特性を詳細に検討している。即ち、このアンテナの走査特性は主としてアンテナの有効開口幅で定まり、鏡面の収差の影響は無視できることなど、多くの有用な知見を得、実験を行ってその結果を確認している。

第5章は、実用上の諸問題について論じたもので、特に鏡面の配置および給電位置の誤差の影響、給電点の変位の方法などについて多くの興味ある結果を得ている。

第6章は結論である。

以上要するに、本論文は、カージオイドを用いた複反射鏡アンテナを提案してその特性を論じ、ビーム走査アンテナとして優れた特性を有することを明らかにしてその設計のための有用な資料を与えたもので、電波工学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。